

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** **2 620 985** ⁽¹¹⁾ ⁽¹³⁾ **C1**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(51) МПК
[G01N 21/64 \(2006.01\)](#)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 17.12.2018)

(21)(22) Заявка: [2016106491](#), 24.02.2016(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.02.2016

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.02.2016

(45) Опубликовано: [30.05.2017](#) Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 20060049369 A1, 09.03.2006. US
5093866 A, 03.03.1992. US 7515268 B1,
07.04.2009. SU 1651171 A1, 30.01.1991. SU
1305582 A1, 23.04.1987.

Адрес для переписки:

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
УрФУ, Центр интеллектуальной
собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):

**Карицкая Светлана Геннадьевна (RU),
Пономарев Сергей Георгиевич (US)**

(73) Патентообладатель(и):

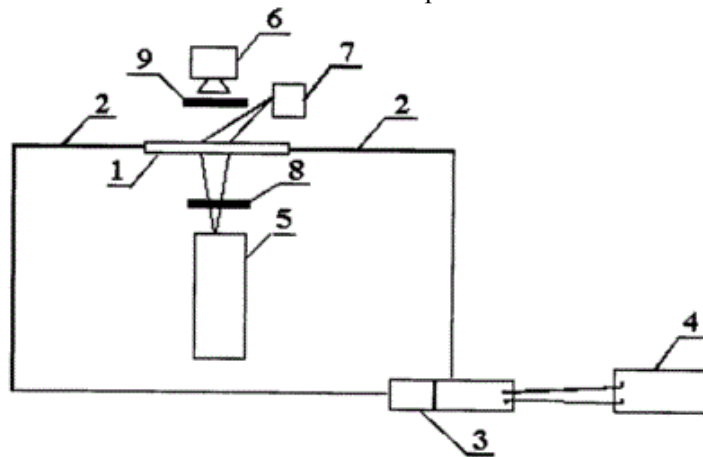
**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина" (RU)**

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ПОТОКОВ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОКАНАЛАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к технической физике, в частности к оптическим способам исследования структуры течения жидкости в микроканалах, может быть использовано в лабораторных исследованиях, в вузах. Заявленный способ измерения скоростей потоков жидкостей в микроканалах характеризуется тем, что готовят композицию в виде концентрированного раствора антрахинона не менее 10^{-3} моль/л в алифатическом спирте или раствора антрахинона в смеси воды и алифатического спирта в соотношении 3:7, которую вводят в микроканал, облучаемый ультрафиолетовым светом постоянной мощности, инициирующим в этой композиции фотохимические реакции с образованием флуоресцирующего фотопродукта, время появления которого зависит от скорости потока жидкости. Затем регистрируют время появления флуоресценции фотопродукта и по предварительно построенной калибровочной зависимости времени появления флуоресценции от скорости определяют значение средней по сечению скорости потока в канале. Технический результат - устранение недостатков инерционных измерений, что обеспечивает

снижение систематической погрешности и позволяет упростить измерения. 3 ил.



Фиг. 1

Изобретение относится к технической физике, а именно к области микрофлюидики и микрофлюидных устройств, использующих небольшие количества жидкости, текущих в каналах с характерными размерами от нескольких микрон до нескольких миллиметров, и, в частности, к оптическим способам исследования структуры течения жидкости в микроканалах. Изобретение может быть использовано в научных и лабораторных исследованиях, в вузах.

Микрофлюидные устройства находят широкое применение в различных областях науки и техники: от микроэлектроники (охлаждение микрочипов) до биологических и медицинских исследований, таких как выращивание кристаллов белков, ДНК-микрочипы, биологический и химический анализ и синтез (биомикрочипы и лаборатория на чипе). Многие типы микрофлюидных устройств изготавливаются на полимерных подложках, в которых, применяя различные методы макетирования, создают системы микроканалов, клапанов, силовых приводов и прочих элементов. В микрофлюидных устройствах основные процессы течения жидкости развиваются в тонком слое размером от нескольких микрон в пристеночных областях микроканалов, что осложняет или делает невозможным использование контактных методов измерения. В связи с этим получили развитие бесконтактные оптические методы для измерения различных характеристик жидкостей в таких устройствах.

Широко известны оптические способы измерения скоростей потока жидкостей по изображениям частиц (Particle Image Velocimetry (PIV)).

Применительно к микрофлюидике эти способы были адаптированы к малым размерам микроканалов и получили название микро-PIV. Их подробный обзор может быть найден в таких публикациях, как: D. Sinton Microscale flow visualization [Microfluid Nanofluid (2004) 1: 2-21] и Steven T. Wereley et al. Recent Advances in Micro-Particle Image Velocimetry [Annu. Rev. Fluid Mech. 2010. 42:557-76]. В патенте US 6653651 Micron resolution particle image velocimeter описывается метод и аппарат для измерения движения жидкости с высоким пространственным разрешением. Микроканал с жидкостью и флуоресцирующими частицами микронного и субмикронного размера освещается импульсами света определенной длины волны и продолжительности. С помощью специального микроскопа и цифровой камеры делается как минимум два последовательных снимка движущихся флуоресцирующих частиц. Полученные изображения разделяются на равные области, которые коррелируются между разными изображениями с целью измерения наиболее вероятного локального перемещения частиц и их скоростей. Микроскоп используется как для освещения жидкости в микроканале, так и для регистрации флуоресцирующих микрочастиц. Микроскоп обладает известной глубиной фокусировки и фокусируется на определенную область внутри микроканала. Четко сфокусированные изображения получаются только для тех микрочастиц, которые в момент съемки находятся в области фокусировки, что и определяет высокое пространственное разрешение положения микрочастиц. Главными недостатками приведенного в патенте и других похожих микро-PIV методов являются: 1) сложность применяемых оптических систем, которые требуют точной настройки как для возбуждения флуоресценции частиц, так и для ее регистрации с целью получения четкого изображения микрочастиц по всему полю наблюдения, и 2) использование программных алгоритмов корреляции и анализа изображений движения частиц и усреднения скоростей их движения, которые приводят к увеличению системной

погрешности измерений, особенно для пограничных течений возле стенок микроканалов.

Известен также способ измерения скорости потока жидкости, основанный на явлении фотообесцвечивания флуоресцентных красителей. В рассматриваемом методе краситель теряет способность флуоресцировать по мере облучения раствора светом в полосе поглощения красителя. Например, в Патенте US 7283215 Method and apparatus for fluid velocity measurement based on photobleaching скорость потока измеряется и вычисляется с помощью калибровочной зависимости интенсивности флуоресценции красителя от скорости потока. Чем больше скорость потока, тем меньше фотообесцвечивание и больше интенсивность флуоресценции красителя. Предложенные в патенте способ и устройство позволяют измерять локальную скорость потока в точке измерения и распределение скоростей по сечению канала с высоким пространственным и временным разрешением. Существенным недостатком этого способа является низкий уровень отношения сигнала к шуму (контраст изображения), который на порядок ниже по сравнению с другими оптическими методами. Измерение яркого сигнала на темном фоне фундаментально дает более точные результаты по сравнению с измерением темного сигнала (обесцвеченного раствора) на ярком фоне. Погрешность измерения также увеличивается, когда движение флуоресцирующих областей раствора накладывается на области с обесцвеченным красителем вследствие локальных градиентов скоростей движения жидкости. Особенно это проявляется при измерении пограничных потоков около стенок микроканала, где используются эванесцентные волны, интенсивность которых очень слаба и экспоненциально убывает от поверхности, что еще больше сказывается на погрешности измерения.

Задачей настоящего изобретения является создание нового способа, позволяющего упростить оптическую систему регистрации движения жидкости в микроканалах микрофлюидных устройств, устранить недостатки инерционных измерений и снизить систематическую погрешность измерения скорости течения жидкости.

Решение поставленной задачи достигается тем, что используется принципиально новый способ измерения течения жидкости.

Способ измерения скоростей потоков жидкостей в микроканалах, характеризующийся тем, что готовят композицию в виде концентрированного раствора антрахинона не менее 10^{-3} моль/л в алифатическом спирте или концентрированного раствора антрахинона в смеси воды и алифатического спирта в отношении 3:7, которую вводят в микроканал, облучаемый ультрафиолетовым светом постоянной мощности, инициирующим в этой композиции фотохимические реакции с образованием флуоресцирующего фотопродукта, время появления которого зависит от скорости потока жидкости, регистрируют время появления флуоресценции фотопродукта и по предварительно построенной калибровочной зависимости времени появления флуоресценции от скорости определяют значение средней по сечению скорости потока в канале.

Ультрафиолетовый свет, применяемый для освещения микроканала с жидкостью, может быть непрерывным или пульсирующим, а также сфокусированным или несфокусированным. Ультрафиолетовый свет может быть сфокусирован в определенной области по сечению микроканала с целью ускорения времени формирования флуоресцирующего фотопродукта в этой области.

Предлагаемое изобретение поясняется чертежами:

фиг. 1 - блок-схема установки для реализации предлагаемого способа измерения скоростей потоков жидкостей в микроканалах;

фиг. 2 - временные зависимости показаний фотодиода, регистрирующего время появления флуоресценции фотопродукта;

фиг. 3 - пример калибровочной зависимости времени появления флуоресцирующего фотопродукта от скорости потока жидкости.

Осуществление предлагаемого способа рассмотрим на примере измерения скорости течения жидкости, приготовленной на основе композиции в виде концентрированного спиртового раствора антрахинона (10^{-3} моль/л), в кварцевой трубке (1) с внутренним диаметром менее 3 мм на установке, блок-схема которой приведена на фиг. 1. Композиция поступает в изначально пустую трубку (1) через резиновые шланги (2) с помощью насоса центробежного типа (3). Скорость течения композиции варьируется путем изменения напряжения на источнике питания двигателя (4). Возбуждение образца, поступившего в трубку, производится ультрафиолетовым светом (длина волны 337 нм), поступающим от лазера (5). Лазером облучается произвольный фиксированный участок трубки. Длительность возбуждения составляет 1 секунду и регулируется электромеханическим затвором (8),

который синхронизирован с другим затвором (9), определяющим время экспозиции цифровой камеры (6).

Время возникновения флуоресценции фотопродукта в зоне облучения потока регистрируется фотодиодом (7). Начальный момент времени t_0 облучения композиции, то есть момент, когда композиция попадает в зону облучения трубки, фиксируется и определяется резким снижением интенсивности излучения, попадающего на фотодиод (фиг. 2). В результате инициируемых фотохимических реакций, протекающих в течение некоторого времени τ_i , в композиции генерируется флуоресцирующий фотопродукт, флуоресценция которого вносит вклад в сигнал, регистрируемый фотодиодом. Измеренные значения начального момента времени t_0 облучения композиции и времени t_1 появления флуоресценции фотопродукта в композиции позволяют с высокой точностью определить время генерации флуоресцирующего фотопродукта как $\tau_i = t_1 - t_0$.

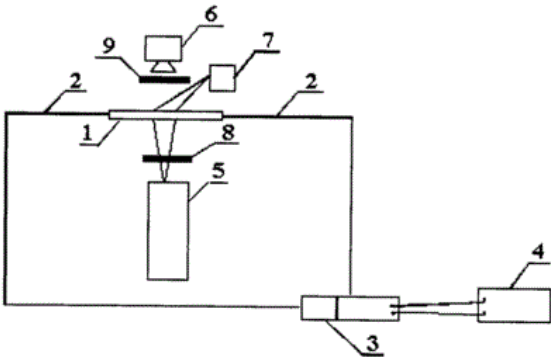
Полученная зависимость времени возникновения флуоресценции фотопродукта антрахинона от скорости течения раствора в трубке при постоянной мощности лазерного излучения 3 мВт приведена на фиг. 3. Как видно из графика, полученная зависимость $\tau_i = f(V_{cp})$ с хорошим приближением является линейной.

Предложенное техническое решение обеспечивает устранение недостатков инерционных измерений и высокий контраст изображения, что способствует снижению систематической погрешности и позволяет упростить как оптическую схему, так и процесс измерения скорости течения жидкости.

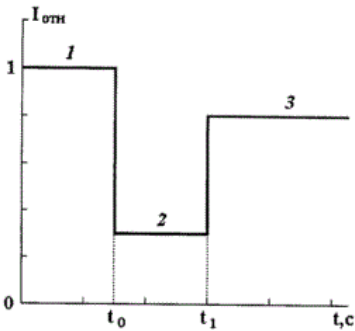
Формула изобретения

Способ измерения скоростей потоков жидкостей в микроканалах, характеризующийся тем, что готовят композицию в виде концентрированного раствора антрахинона не менее 10^{-3} моль/л в алифатическом спирте или концентрированного раствора антрахинона в смеси воды и алифатического спирта в соотношении 3:7, которую вводят в микроканал, облучаемый ультрафиолетовым светом постоянной мощности, инициирующим в этой композиции фотохимические реакции с образованием флуоресцирующего фотопродукта, время появления которого зависит от скорости потока жидкости, регистрируют время появления флуоресценции фотопродукта и по предварительно построенной калибровочной зависимости времени появления флуоресценции от скорости определяют значение средней по сечению скорости потока в канале.

Способ измерения скоростей
потоков жидкостей в микроканалах



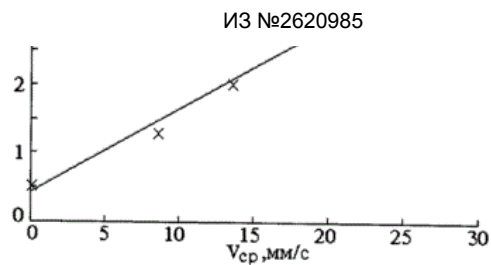
Фиг. 1



Фиг. 2

Способ измерения скоростей
потоков жидкостей в микроканалах





Фиг. 3

ИЗВЕЩЕНИЯ

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: **25.02.2018**

Дата внесения записи в Государственный реестр: **11.12.2018**

Дата публикации и номер бюллетеня: [11.12.2018](#) Бюл. №35